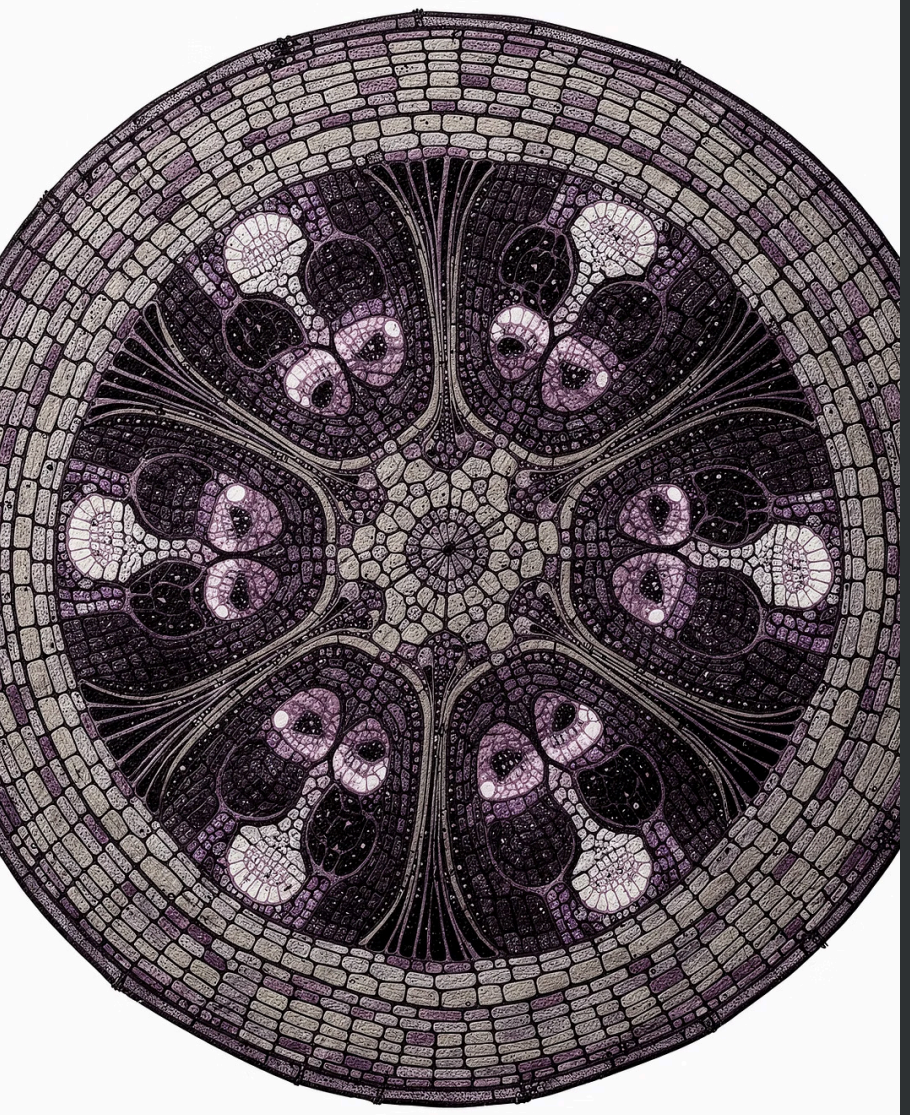


Bitkisel Dokularda Anatomi: Örtü, Temel ve İletim Sistemleri

Ders Sunumu

Teradigma

Üç Doku Sistemi: Bütünleşik Bir Tasarım

Bitkinin organizasyonu, üç ana doku sistemine dayandırılmıştır:

Örtü Doku Sistemi

Bitkiyi dış ortamdan ayıran koruyucu arayüz

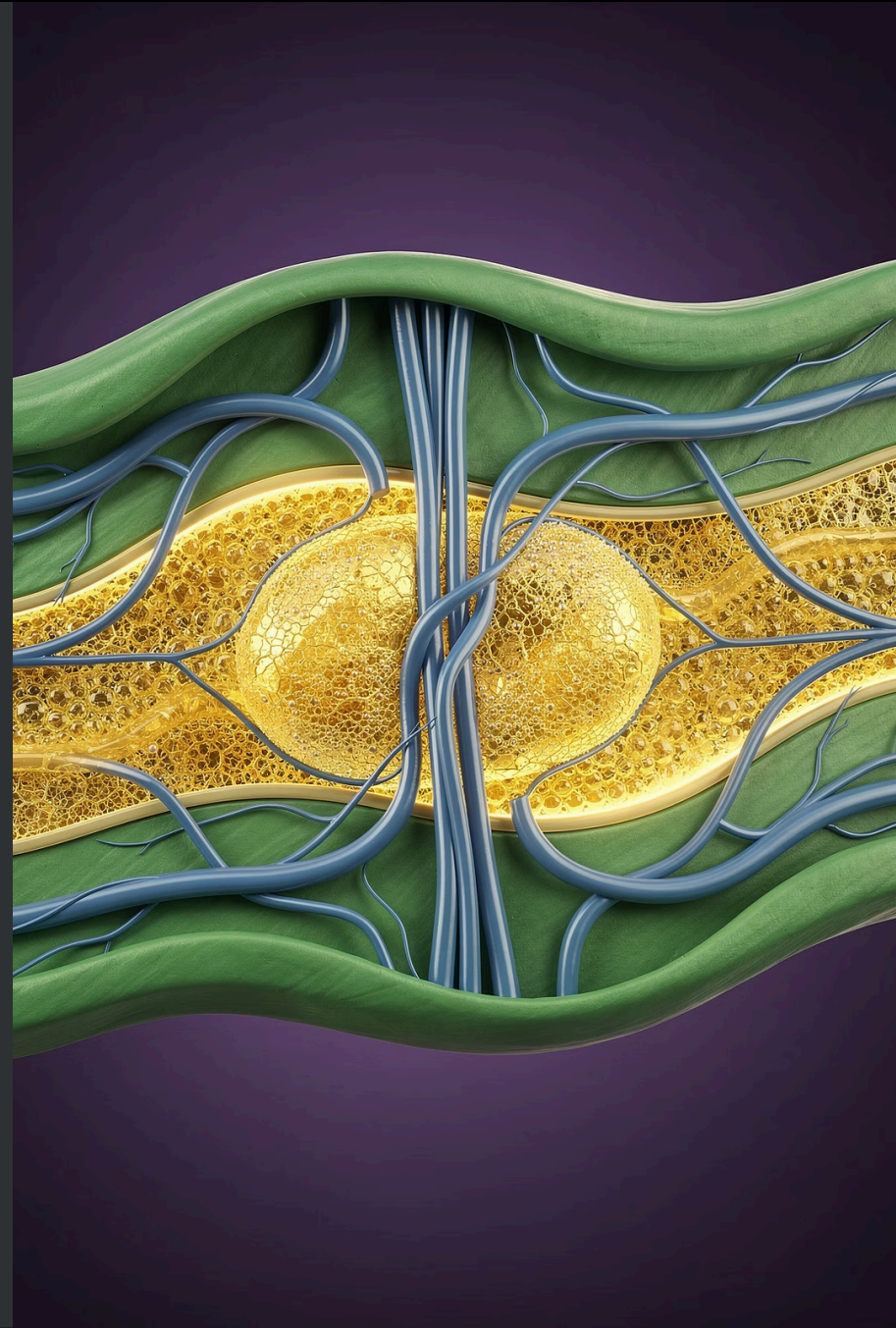
Temel Doku Sistemi

Metabolik ve yapısal merkez

İletim Doku Sistemi

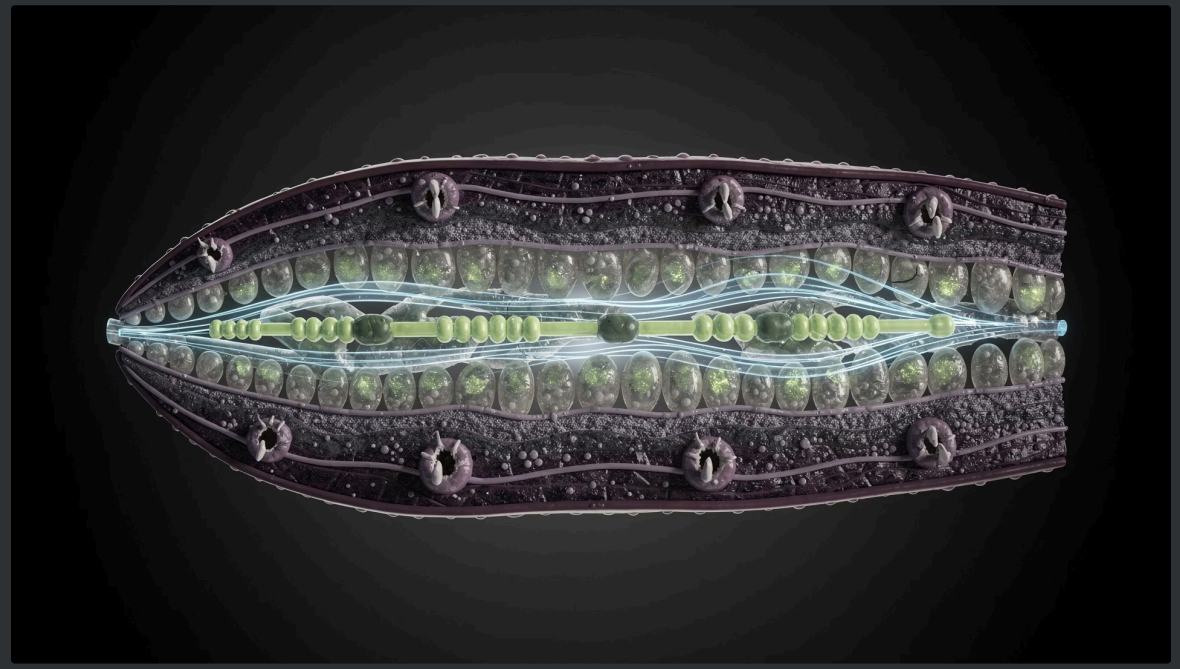
Su, mineral ve besin maddelerinin taşındığı kanal ağı

> Bu üç sistem yalnızca fiziksel olarak yan yana değil; işlevsel olarak birbirine tam bağımlı ve entegre biçimde tasarlanmıştır.



Sistemlerin Entegrasyonuna Bir Örnek

Üç doku sistemi arasındaki koordinasyon, son derece hassas bir düzeyde kurulmuştur:



Ksilem–Stoma Bağlantısı

Ksilemdeki su potansiyelindeki değişiklik, stoma düzenlemesini doğrudan tetikler

Mezofil–Floem Bağlantısı

Mezofilde üretilen fotosentez ürünleri floeme yüklenir; bu yükleme, stomadan alınan CO_2 miktarına bağlıdır

Bitkinin tekil parçaların bir toplamı değil, bütüncül ve entegre bir sistemin ürünü olduğu bu koordinasyondan anlaşılmaktadır.

Örtü Doku: Epidermis ve Periderm

Örtü doku sistemi, bitkinin gelişim evresine bağlı olarak iki temel yapıdan oluşur:

Epidermis

Genç, otsu kısımları kaplayan, genellikle tek hücre tabakasından oluşan yapı

Periderm

İkincil büyüme gösteren odunlaşmış kısımlarda epidermisin yerini alan, çok katmanlı ve daha kalın yapı

Her iki yapı da mekanik hasara, patojenlere ve aşırı su kaybına karşı bir savunma hattı olarak konumlandırılmıştır.

Kütikula: Pasif Zırh mı, Aktif Sinyal Katmanı mı?

Kütikula, epidermis hücrelerinin dış yüzeyine salgılanan hidrofobik bir katmandır:

Yapısı

Kutin adlı bir polyester matris ile bu matrise gömülmüş mumlardan oluşur

Fiziksel İşlevi

Su buharlaşmasını engeller, UV radyasyonuna filtre görevi görür, patojenlerin nüfuzunu zorlaştırır

Sinyal İşlevi

Patojen enzimleriyle parçalandığında açığa çıkan kutin monomerleri, **DAMP** işlevi görerek savunma mekanizmalarını tetikler

Kütikula Monomerlerinin Taşınması

Kutin monomerleri, epidermis hücreleri içinde sentezlenir; apoplastik alana ulaşmaları için özelleşmiş bir taşıma sistemi tasarlanmıştır:

Bu taşımadan, **ABC taşıyıcı proteinlerinin G alt ailesine** ait üyeler sorumludur. Arabidopsis'te AtABCG32, domateste SlABCG42 bu süreçte görev üstlenir.

Söz konusu taşıyıcılar, ATP hidrolizinden elde edilen enerjiyi kullanarak kutin öncüllerini aktif biçimde hücre dışına pompalar. Bir polimerin inşası için gerekli hammaddenin tam da inşa yerine taşınması, tesadüfen ortaya çıkabilecek bir düzenleme değildir.

Stomalar: Gaz Alışverişini Yöneten Hassas Kapı

Stomalar, yaprağın genellikle alt yüzeyinde konumlanmış, fasulye şeklinde iki bekçi hücresinin çevrelediği mikroskobik gözeneklerdir:

CO_2 Alımı

Fotosentez için gerekli CO_2 atmosferden bu yapı aracılığıyla alınır

Gaz ve Su Buharı Salınımı

Oksijen ve su buharı dışarı verilir

Turgor Dengesi

Bekçi hücrelerinin turgor basıncındaki değişimle stomaların açılıp kapanması düzenlenir; gaz alışverişi ile su kaybı arasında hassas denge kurulur

Trikomlar: Çok Amaçlı Özelleşmiş Yapılar

Epidermisten dışarı doğru uzanan tüy benzeri yapılar olan trikomlar, bitki türüne ve organa göre büyük çeşitlilik gösterir:

Su Kaybını Azaltma

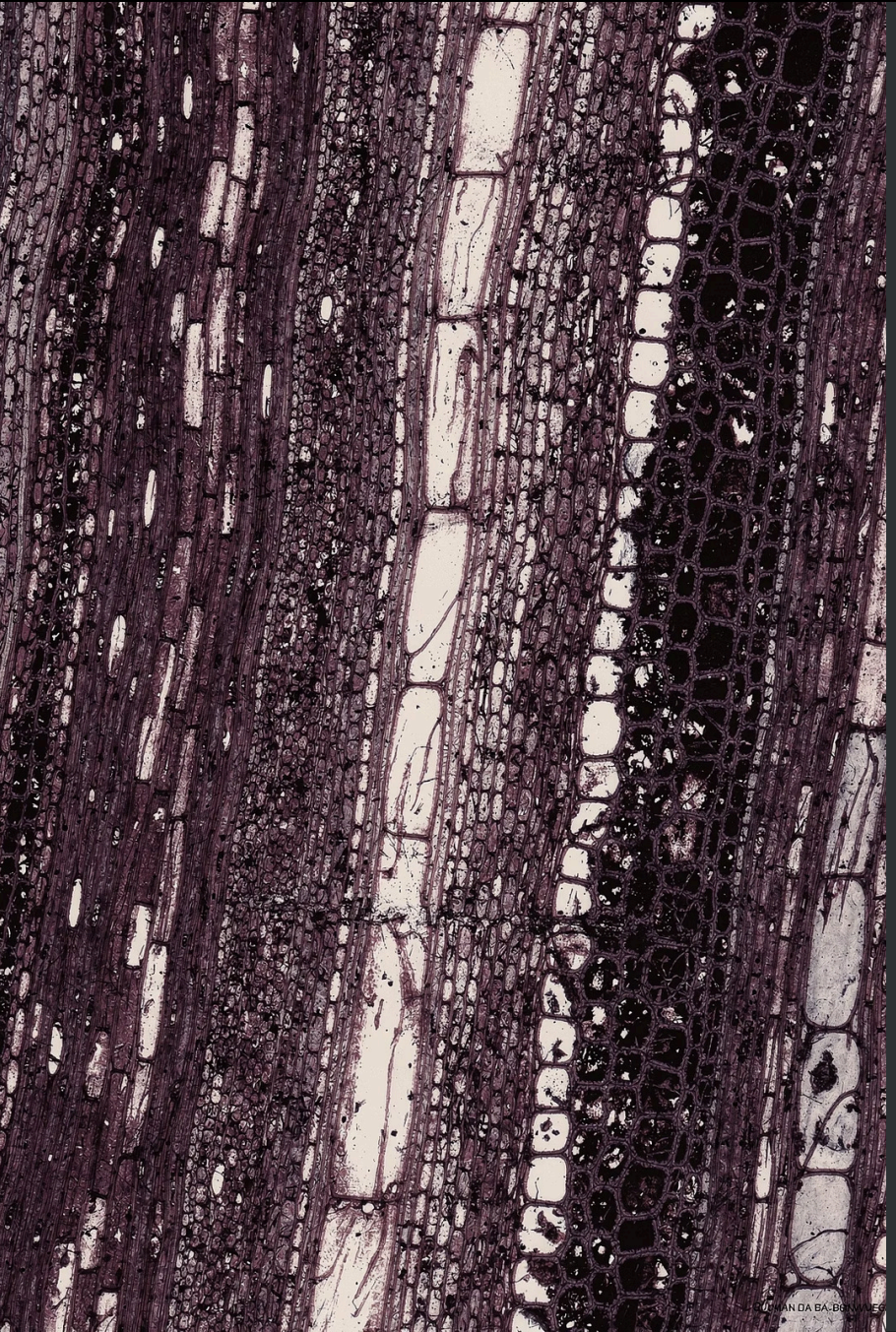
Yaprak yüzeyinde durgun bir hava tabakası oluşturarak transpirasyon hızını düşürür

Otçullara Karşı Koruma

Salgıladıkları kimyasallar veya oluşturdukları fiziksel engel ile otçullara karşı koruma sağlar

Salgı İşlevi

Çeşitli maddelerin salgılanmasında da görev üstlenir



Temel Doku: Üç Hücre Tipi, Üç Farklı Görev

Temel doku sistemi, bitkinin metabolik faaliyetlerinin büyük bölümünün yürütüldüğü ve yapısal desteğin sağlandığı merkezdir. Üç ana hücre tipinden oluşur:

Parankima

En az özelleşmiş, metabolik olarak en aktif tip

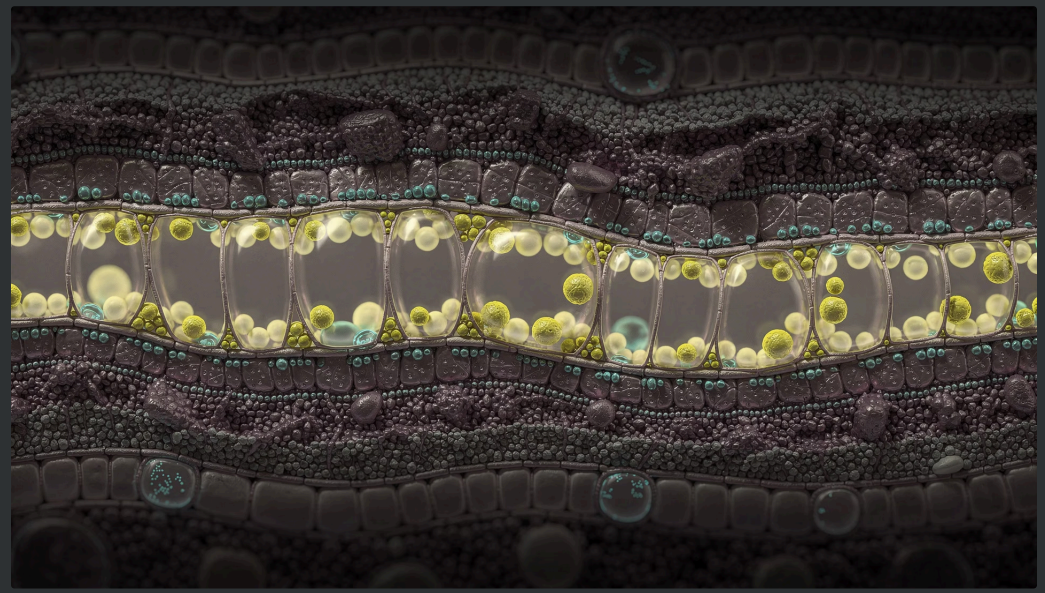
Kollenkima

Büyümekte olan organlara esnek mekanik destek sağlar

Sklerenkima

Büyümesini tamamlamış organlara kalıcı sert destek sunar

Parankima: Çok Yönlü Metabolik Hücre



Parankima hücreleri canlı, ince birincil çeperlere sahip ve metabolik olarak son derece aktiftir:

Fotosentez Merkezi

Yapraklardaki mezofil tabakasını oluşturur; kloroplastları aracılığıyla fotosentezin ana merkezi konumundadır

Depolama İşlevi

Kök ve gövdelerin korteks ve öz bölgelerinde nişasta gibi besin maddelerinin depolanması işlevi görür

Yara Onarımı

Yaralanma durumlarında bölünebilme ve farklı hücre tiplerine dönüşebilme kapasitesi, yara onarımında kritik bir rol üstlenmesini sağlar

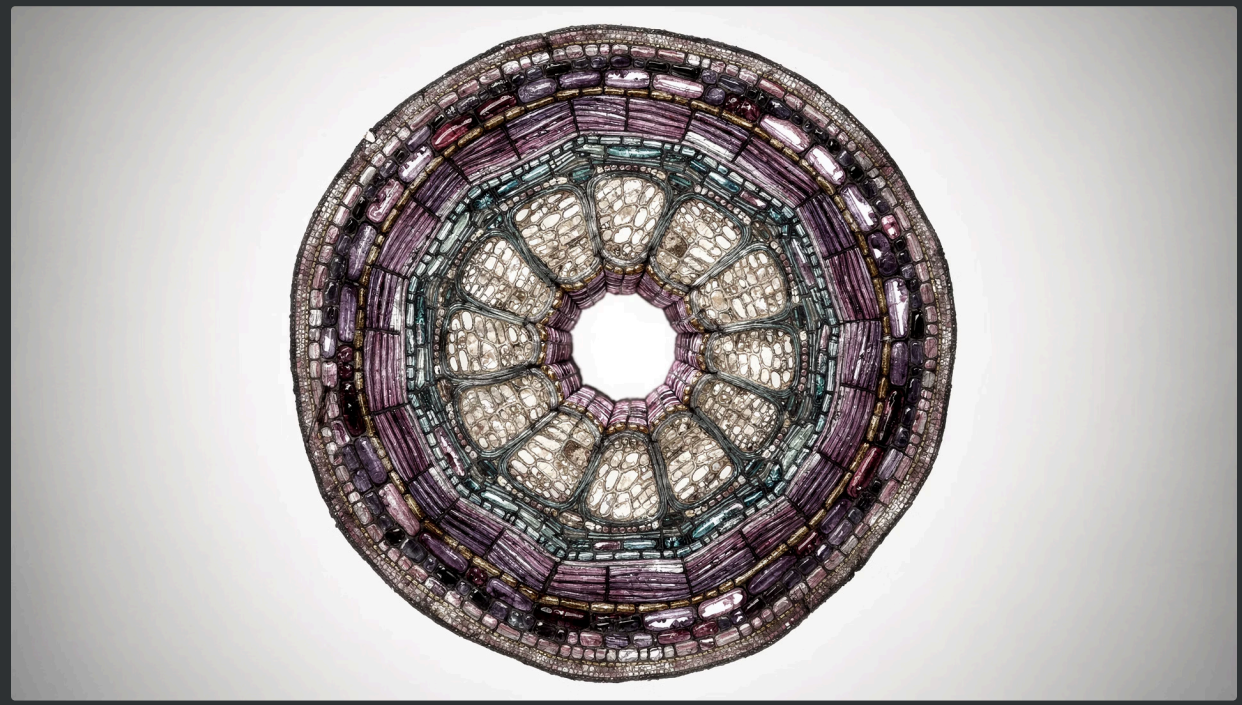
Kollenkima ve Sklerenkima: Destek Dokuları

Kollenkima

Canlı hücreler; pektin ve selüloz birikimi ile düzensiz kalınlaşmış birincil çeper. Yaprak sapı veya genç sürgün gibi organların kırılmadan eğilip bükülmesine olanak tanır.

Sklerenkima

Lignin ile güçlendirilmiş kalın ikincil çeper; olgunlaşınca hücreler ölür. Lifler gerilme direnci sağlar; sklereidler (taş hücreleri) tohum kabukları gibi sert koruyucu yapılar oluşturur.



Ksilem: Su Taşıma Kanallarının İnşası

Ksilem, su ve minerallerin köklerden yapraklara taşınmasını sağlayan iletim dokusudur:

01

Trakeitler ve Trake Elemanları

İletim hücreleri olan trakeitler ve trake elemanları, olgunlaşınca protoplastlarını kaybeder; içi boş boru yapısına dönüşür

02

Lignin ile Güçlendirilmiş Çeper

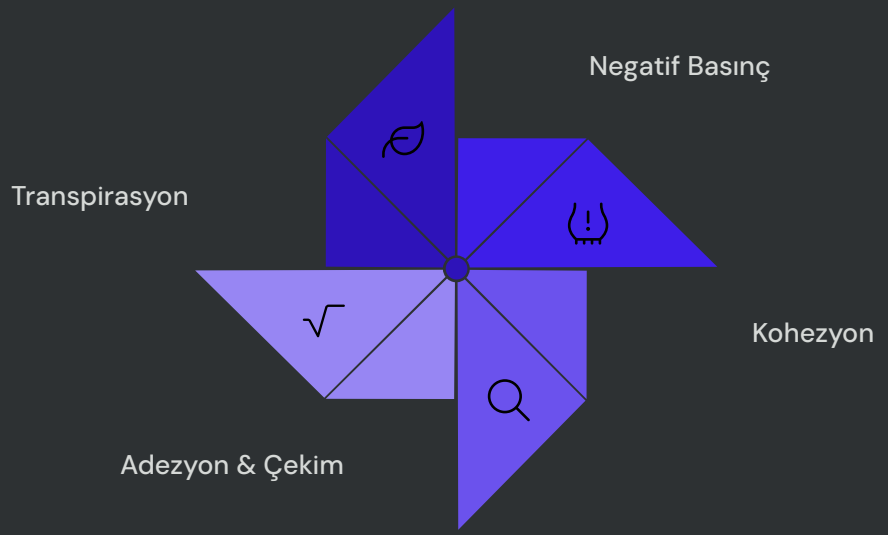
Hücre çeperleri lignin ile kalınlaşmıştır: hem su sızıntısı önlenir hem de ezilmeye karşı mekanik direnç sağlanır

03

Damar Yapısı

Trake elemanları uç uca birleşerek geniş çaplı kesintisiz damarlar oluşturur; trakeitler ise daha dar, uçları kapalı yapılardır ve su geçişi çeperlerdeki geçitler üzerinden gerçekleşir

Kohezyon–Gerilim Mekanizması



Suyun yerçekimine karşı metrelerce yükselerek taşınması, büyük ölçüde pasif bir fiziksel süreçle gerçekleştirilir:

- Yapraklardaki transpirasyonla ksilemin en üstünde negatif basınç oluşur
- Su molekülleri hidrojen bağlarıyla birbirine kuvvetle tutunur (kohezyon); ksilem çeperlerine yapışır (adezyon)
- Bu gerilim köklere kadar iletilir; su, kesintisiz bir sütun halinde yukarı doğru çekilir

Fizik yasalarının bu kadar verimli biçimde işleyeceği anatomik yapının, genetik bir programla inşa edilmiş olması ayrıca dikkat çekicidir.

Floem: Kaynak'tan Havuz'a Besin Taşınımı

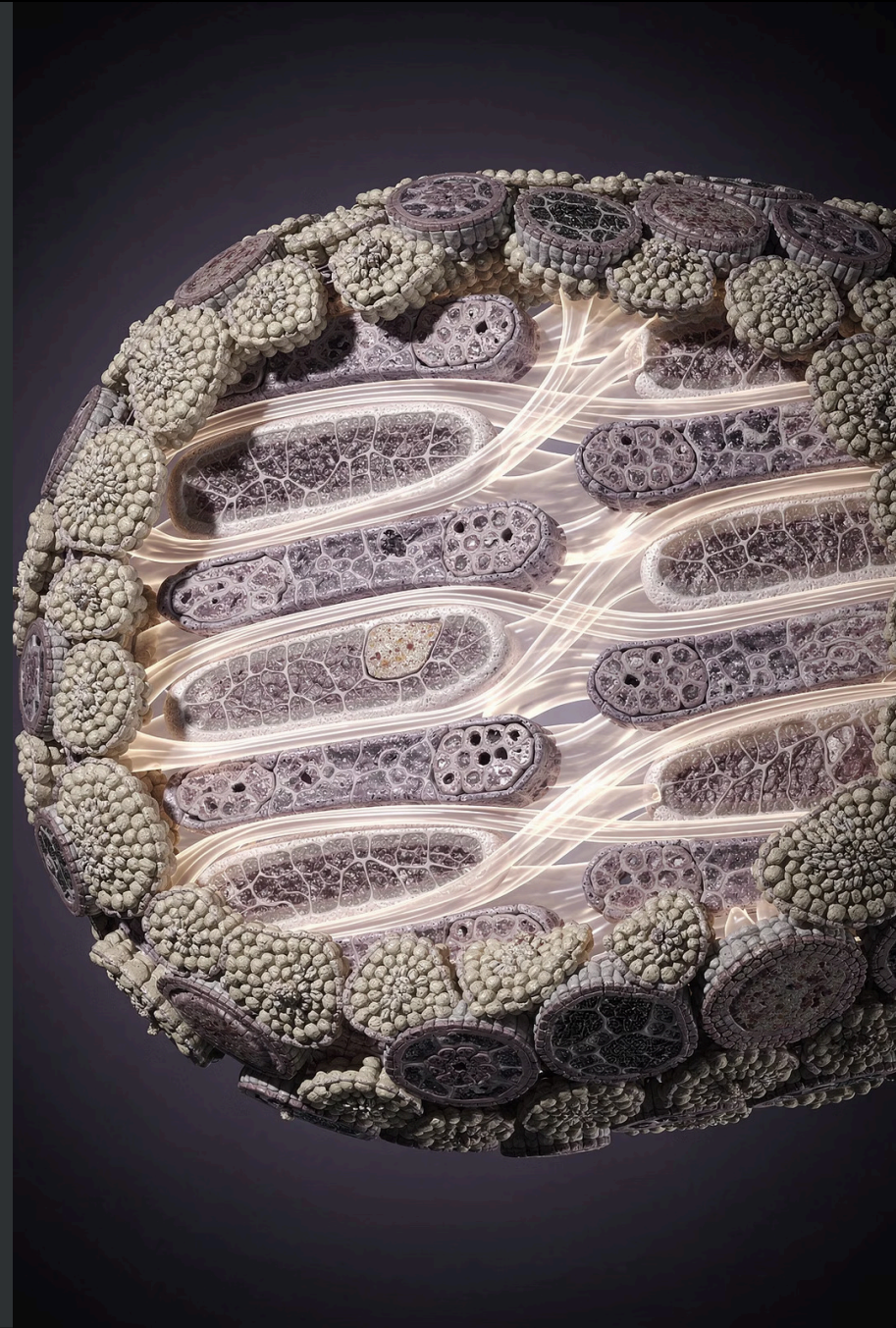
Floem, fotosentez ürünü şekerlerin üretim merkezlerinden (kaynak) kullanım veya depolama merkezlerine (havuz) taşınmasını sağlar:

Kalburlu Boru Elemanları

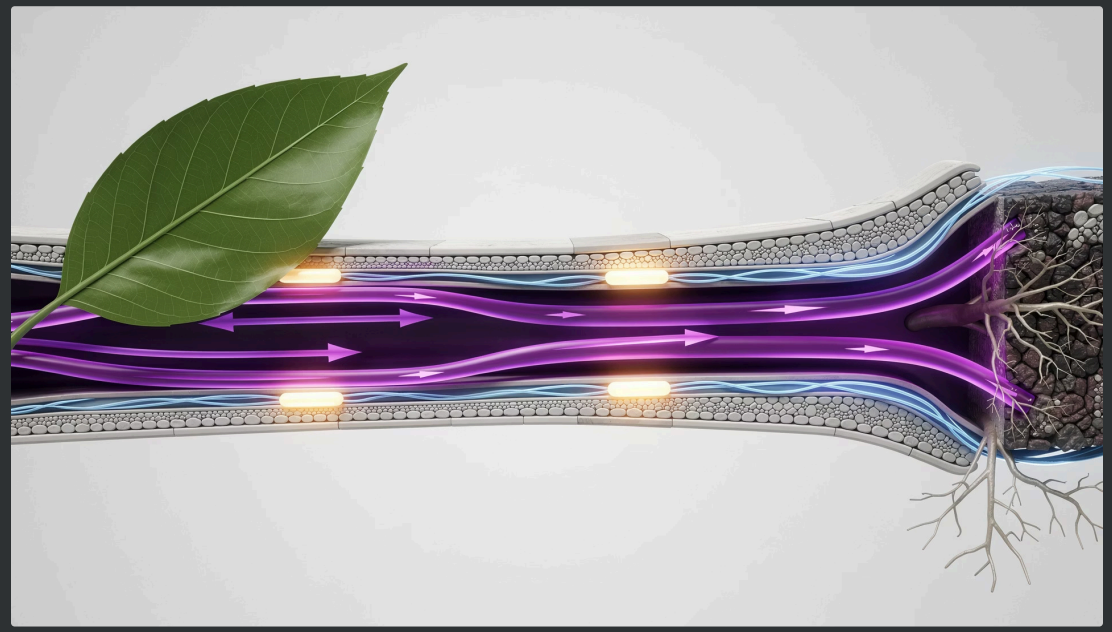
İletim hücreleri canlıdır; ancak uzun mesafeli taşımayı kolaylaştırmak için çekirdek ve vakuol gibi büyük organellerini yitirir

Arkadaş Hücreleri

Her kalburlu boru elemanına plazmodezmata ile bağlı arkadaş hücreleri, hayati metabolik işlevleri üstlenir



Basınç–Akış Mekanizması



Floemde besin taşınımı, osmotik olarak üretilen bir basınç farkıyla sağlanır:

1

Kaynak Dokuda Yükleme

Şekerler kalburlu boru elemanlarına yüklenir; osmotik potansiyel düşer, komşu ksilemden su osmozla girer, turgor basıncı yükselir

2

Havuz Dokuda Boşaltma

Şekerler floemden boşaltılır; su dışarı çıkar, turgor basıncı düşer

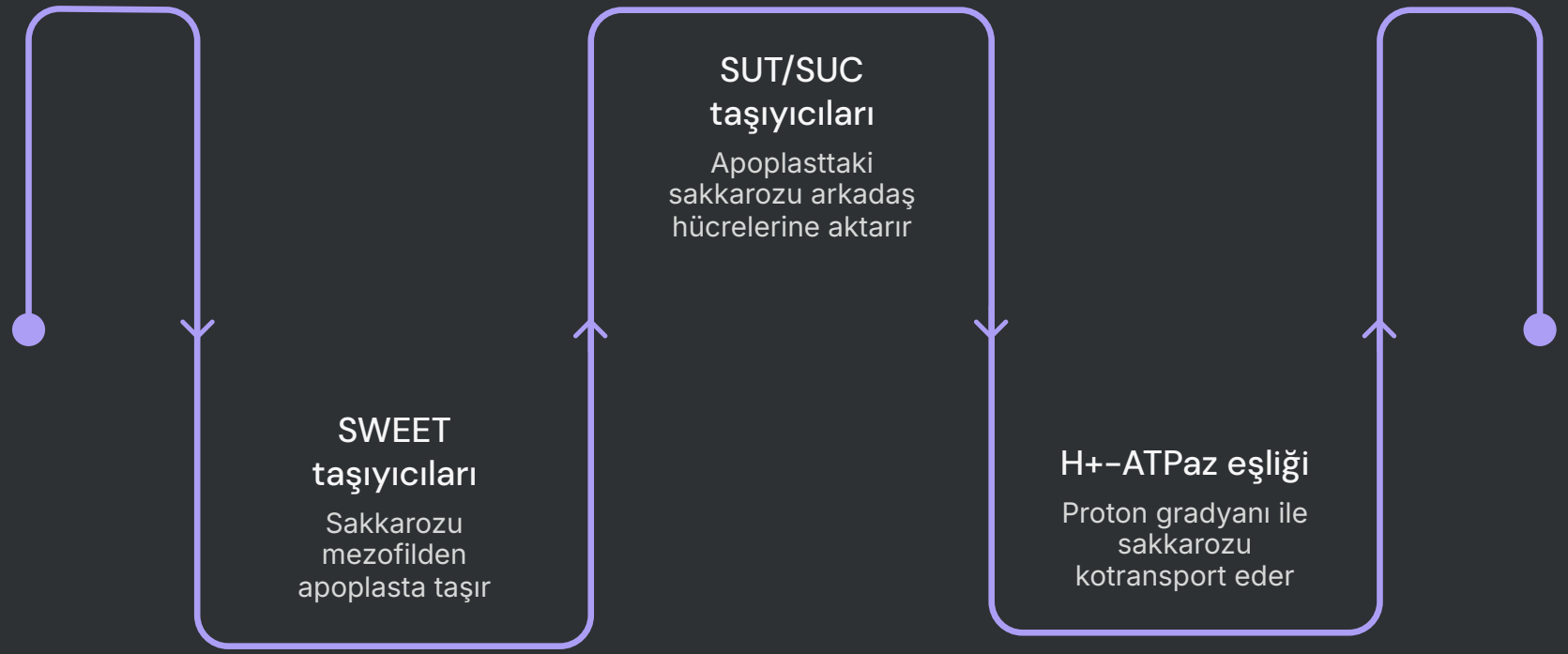
3

Kütlesel Akış

Kaynak ve havuz arasındaki basınç farkı, besin yüklü özsuyun kütlesel akışla hareket etmesini sağlar

Apoplastik Floem Yüklemesinde Moleküler Taşıyıcılar

Otsu bitkilerde gözlemlenen apoplastik floem yüklemesi, katmanlı ve enerji gerektiren bir sistemle yönetilir:



Şekerin, mezofil hücrelerinden çok daha yüksek konsantrasyonlarda floemde biriktirilmesi bu sistemin ürünüdür.

Vasküler Dokuların Oluşumu: Hormonal Düzenleme

Ksilem ve floem dokularının doğru desenlenmesi, hormonlar arası hassas bir etkileşimle yönetilir:

Oksin

Polar taşınımıyla bitki içinde gradyanlar oluşturur; yeni vasküler demetlerin nerede ve hangi yönde kurulacağını belirleyen birincil konumsal bilgiyi sağlar

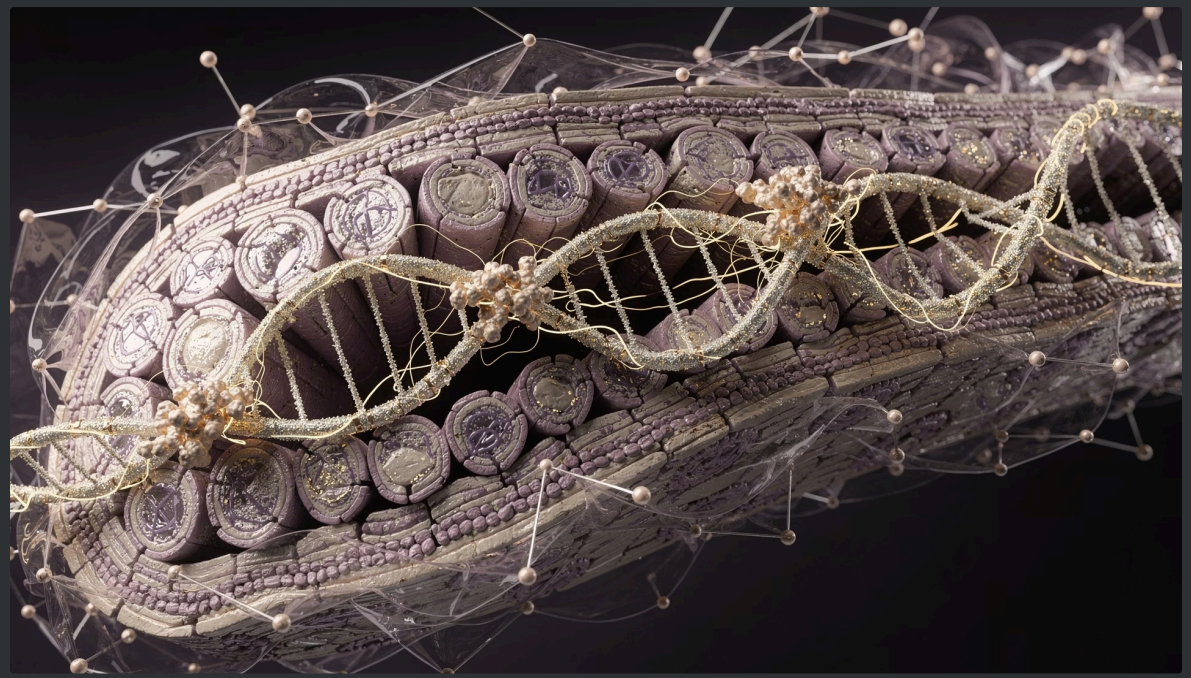
Sitokinin

Kambiyum bölgesindeki hücre bölünmelerini uyararak vasküler dokuların radyal büyümesini düzenler

Antagonist Etkileşim

Bu iki hormon arasındaki antagonist etkileşim, doku farklılaşması ile kök hücre çoğalması arasında denge kurar

Transkripsiyon Faktörleri: Genetik Programın Uygulayıcıları



Hormonal sinyaller, gen ifadesini düzenleyen transkripsiyon faktörleri aracılığıyla etkisini gösterir:

Bu bulgular, farklı dokular arasında moleküler düzeyde koordineli bir iletişimin tasarlandığını göstermektedir.

1

HD-ZIP III Ailesi

Ksilem ve floem kimliğinin belirlenmesinde merkezi rol üstlenir; oksin konsantrasyonundaki farklılıklar bu genlerin ifade düzeyini belirler

2

PEAR Transkripsiyon Faktörleri

Floem dokusunda üretilen PEAR transkripsiyon faktörleri, komşu kambiyum hücrelerine hareket ederek kök hücre bölünmesini uyarır

Kuraklık Koşullarında Ksilem Plastisitesi

Su kıtlığı koşullarında, yeni oluşan ksilem dokusunun anatomisi belirgin biçimde değişir:

01

Damar Çaplarının Küçülmesi

Damar çapları küçülür, birim alandaki damar sayısı artar

02

Negatif Basınca Direnç

Daha dar çaplı damarlar, kohezyon-gerilim mekanizması altındaki yüksek negatif basınca karşı daha dirençlidir

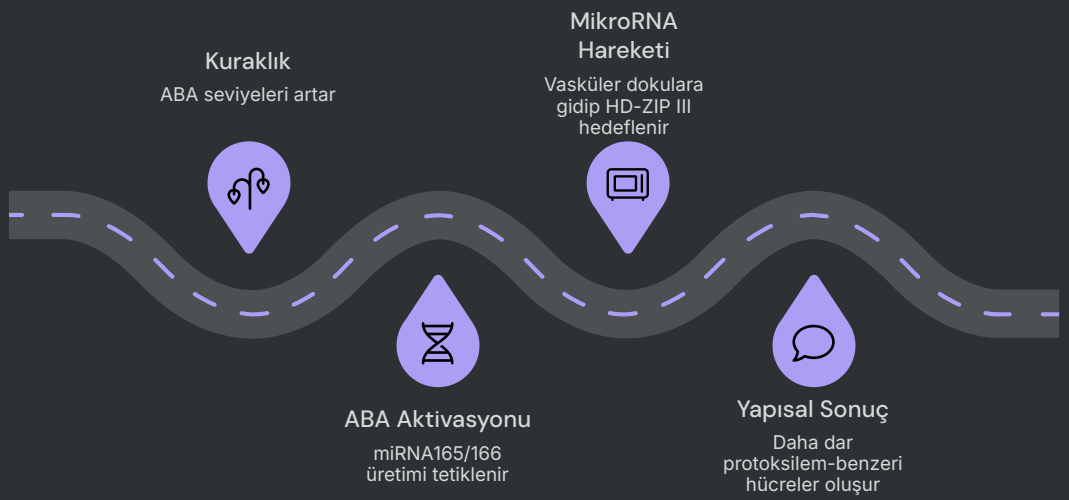
03

Emboli Önleme

Bu yapısal değişim, su sütununda hava kabarcığı oluşumunu (emboli) engelleyerek hidrolik güvenliği artırır

⚠ Su taşıma verimliliğinden belirli ölçüde ödün verilerek güvenlik ön plana alınır; bu, ileri görüşlü bir mühendislik kararını andırmaktadır.

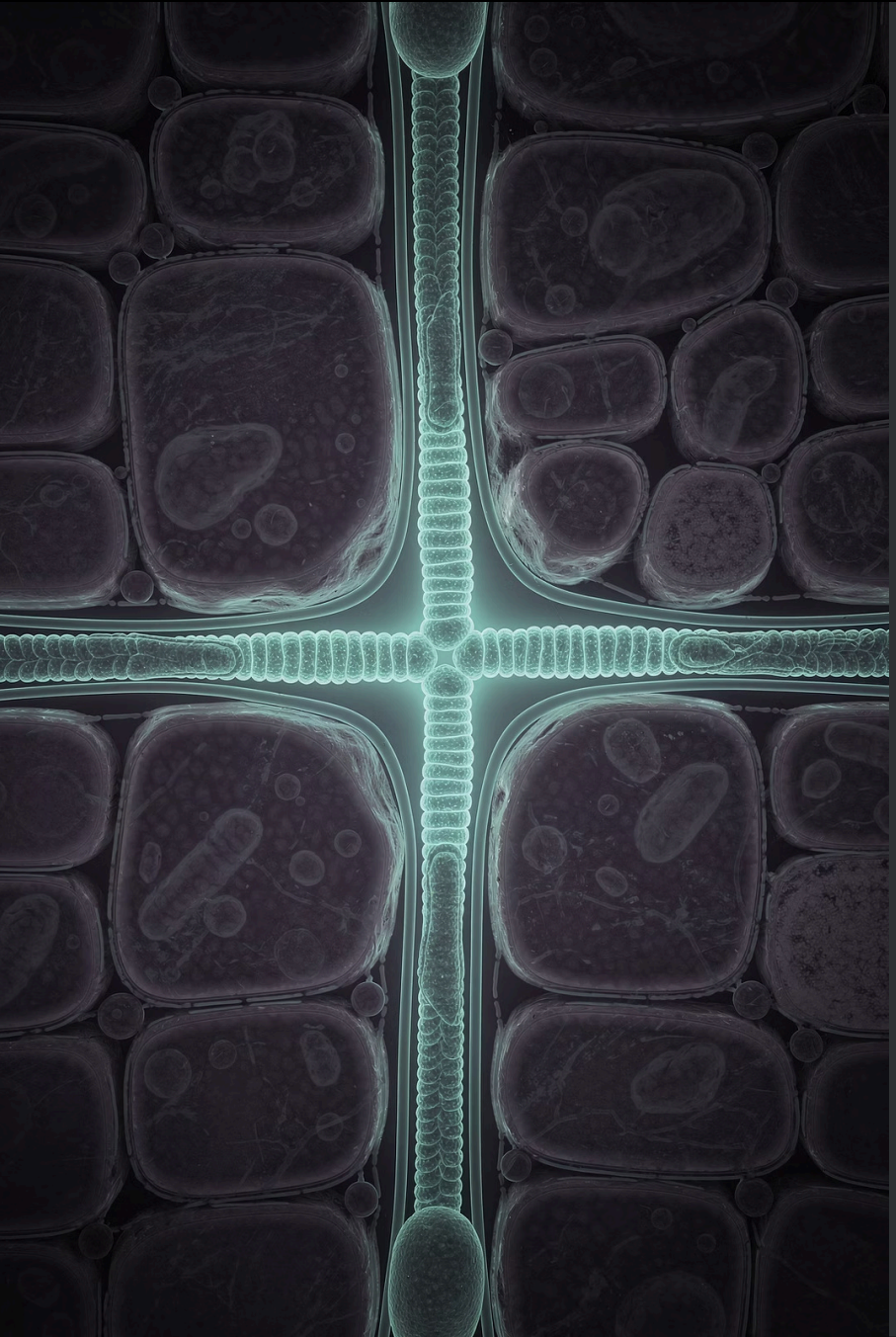
Plastisitenin Moleküler Mekanizması



Kuraklığa bağlı ksilem anatomisi değişimi, son derece düzenli bir moleküler program aracılığıyla yönetilir:

- Kuraklık stresi, **absisik asit (ABA)** seviyelerinin artmasına yol açar
- Artan ABA, köklerdeki belirli hücrelerde **miRNA165** ve **miRNA166** üretimini tetikler
- Bu mikroRNA'lar vasküler dokulara hareket ederek HD-ZIP III transkripsiyon faktörlerinin mRNA'larını hedefler ve parçalar
- HD-ZIP III protein düzeyi düşünce, geniş çaplı metaksilem hücreleri yerine dar çaplı protoksilem benzeri hücreler oluşur

Bitkinin su eksikliğini algılayarak önceden kodlanmış bir yapısal cevabı devreye sokması, genomun bir "acil durum protokolü" barındırdığına işaret eder.



Plazmodezmata: Hücreler Arası İletişim Kanalları

Bitki hücreleri selüloz çeperlerle ayrılmış olsalar da plazmodezmata kanalları aracılığıyla birbirine bağlıdır:

Kanal Yapısı

Her kanal; plazma zarının bir devamı ve merkezdeki **desmotübül** (sıkıştırılmış ER tüpü) ile inşa edilmiştir

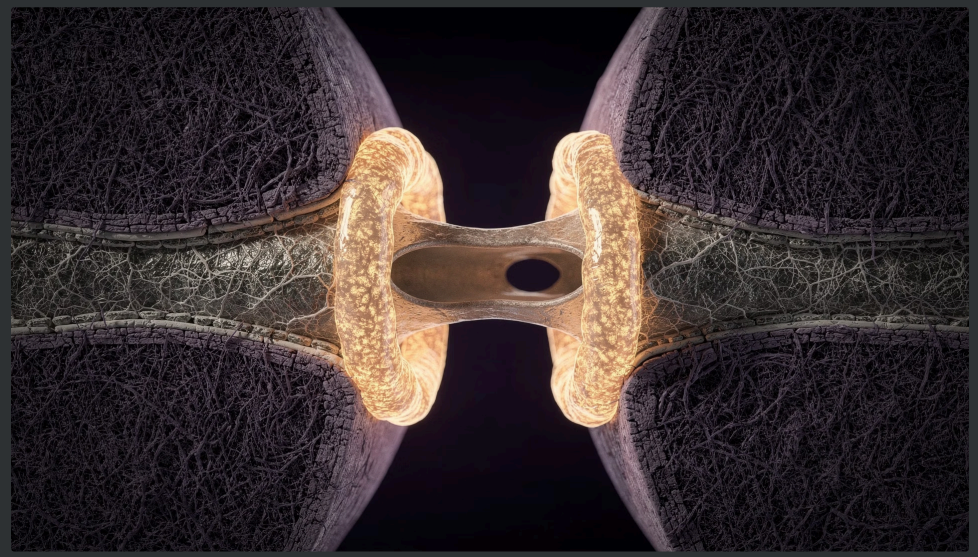
Sitoplazmik Kılıf

Plazma zarı ile desmotübül arasındaki **sitoplazmik kılıf**, küçük moleküllerin, sinyal proteinlerinin ve bazı RNA moleküllerinin kontrollü geçişine olanak tanır

Simplast Ağı

Bu ağ, tüm bitkiyi **simplast** adı verilen dev bir hücreler topluluğuna dönüştürür

Plazmodezmata Geçirgenliğinin Düzenlenmesi



Plazmodezmata kanallarının geçirgenliği sabit değil; dinamik olarak ayarlanmıştır:

Kalloz Birikimi

Kalloz (b-1,3-glukan polimeri) birikimi, kanalın boyun bölgesini daraltarak veya tıkayarak molekül geçişini sınırlar

Kalloz Hidrolaz

Kalloz hidrolaz enzimleri kallozun parçalanmasını sağlayarak kanalı yeniden açar

Savunma Yanıtı

Yaralanma veya patojen saldırısında hızla üretilen ROS ve Ca2+ dalgaları, kalloz sentaz (GSL/CalS) komplekslerini aktive ederek kanalların hızla kapanmasını sağlar

⚠ Bu mekanizma, patojenlerin bitki içinde yayılmasını engelleyen programlanmış bir savunma yanıtıdır.

Hammadde ve Sanat: Atomlardan Sisteme

Bitki dokularını oluşturan temel hammadde; karbon, hidrojen, oksijen gibi cansız ve şuursuz atomlardır.

Bu hammaddeden, kendilerinde bulunmayan özellikler taşıyan yapılar inşa edilmiştir:

Ksilem

Su taşıma kapasiteli

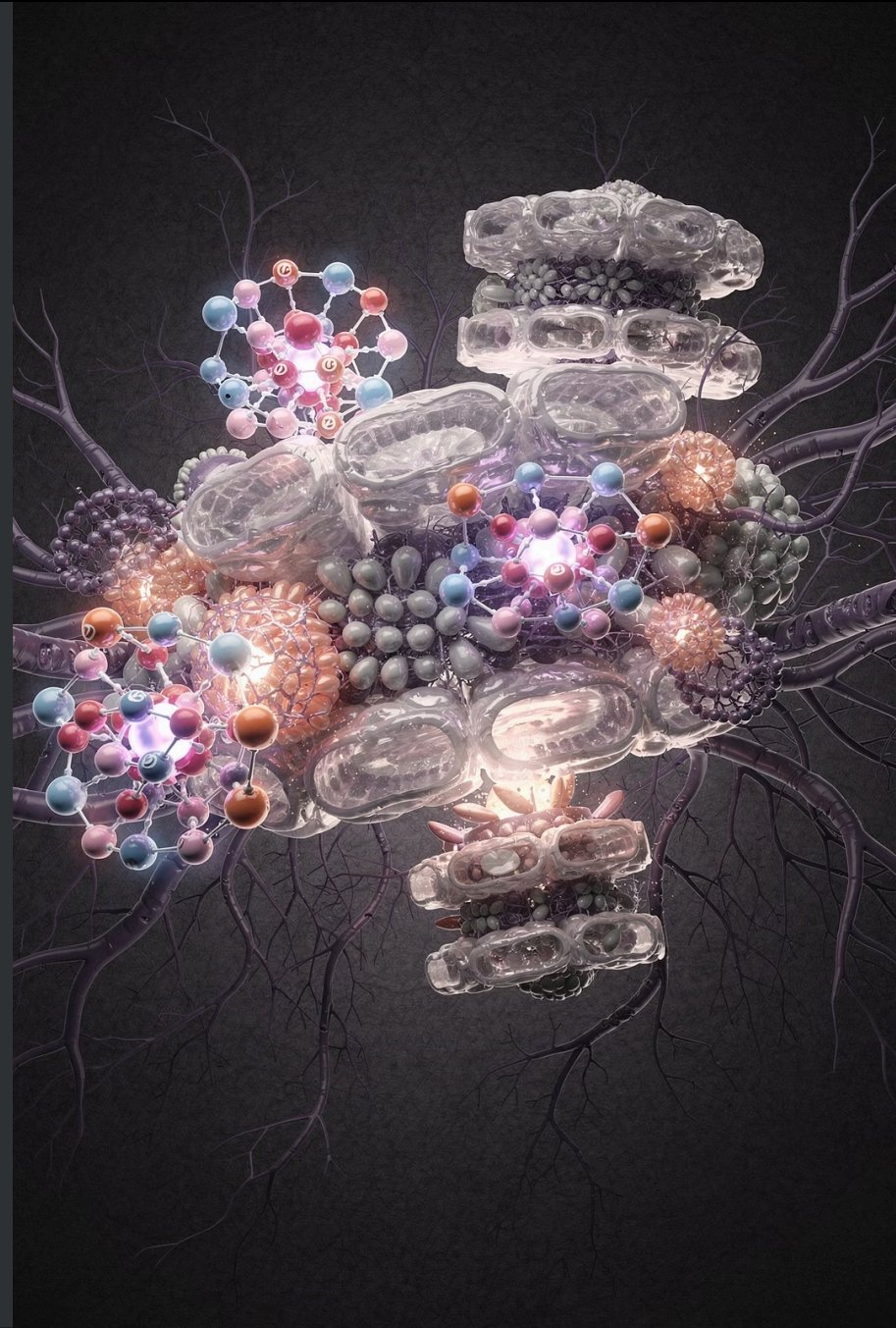
Parankima

Işık enerjisini kimyasal enerjiye çeviren

Epidermis

Çevresel sinyalleri algılayıp programlı yanıt üreten

> Hammaddede bulunmayan özelliklerin — canlılık, büyüme, adaptasyon, bilgi işleme — sanat eserine nereden geldiği, üzerinde tefekkür edilmesi gereken bir sorudur.



Dilin Sınırları: Nedensellik Atfının Eleştirisi

Bilimsel literatürde süreçleri betimlemek için kullanılan kısaltmacı dil, zaman zaman nedenselliğin eksik aktarılmasına yol açabilir:

> "Kohezyon-gerilim kanunu suyu yukarı çeker"

> "Oksin hücre farklılaşmasını tetikler"

Kanun Hakkında

Bir kanun, fail değil; işleyişin tarifidir

Oksin Hakkında

Oksin, bir karar alma iradesine sahip olmayan sinyal molekülüdür; sistemin parçasıdır

Gerçekte olan şudur: belirli fiziksel prensiplerin işleyebileceği bir sistem kurulmuş ve belirli moleküller bu sistem içinde belirli görevleri üstlenmek üzere konumlandırılmıştır.

Sentez: Nizam, Gaye ve Entegrasyon

Bu derste incelenen üç doku sistemi, her seviyede şu özellikleri sergileyen bütünleşik bir yapı olarak karşımıza çıktı:

Hassas Nizam

Genetik programlar, hormonal sinyal ağları ve hücreler arası iletişim; her biri birbirini tamamlayan bir koordinasyon içinde tasarlanmıştır

Belirli Bir Gayeye Yönelik İşleyiş

Terleme ile su çekiminin, CO_2 alımı ile şeker üretiminin senkronizasyonu, bitkinin hayatta kalmasına, büyümesine ve üremesine hizmet eden bütünleşik bir amacı yansıtır

Dinamik Uyum Kapasitesi

Ksilem plastisitesi gibi olgular; statik bir yapının değil, olası zorluklara karşı önceden kodlanmış bir sistemin varlığını ortaya koyar